饲粮添加万寿菊提取物对肉鸡血清生化指标、抗氧化能力和免疫性能的影响

王述浩　张　林　李蛟龙　丛佳惠　高　峰*　周光宏

（南京农业大学动物科技学院，江苏省动物源食品生产与安全保障重点实验室，江苏省肉类生产与加工质量安全控制协同创新中心，南京 210095)

摘　要：本试验旨在研究饲粮添加万寿菊提取物对肉鸡血清生化指标、抗氧化能力和免疫性能的影响。选取 1 日龄爱拔益加（AA）肉鸡 192 只，随机分为 3 组，每组 8 个重复，每个重复 8 只鸡。对照组饲喂基础饲粮，试验组在基础饲粮中分别添加 0.15%和 0.60%的万寿菊提取物，即有效成分叶黄素含量分别为 30 和 120 mg/kg，试验期 42 d。结果表明：与对照组相比，1）饲粮添加 0.60%万寿菊提取物使肉鸡血清甘油三酯和低密度脂蛋白胆固醇水平显著降低（P<0.05），高密度脂蛋白胆固醇水平显著升高（P<0.05）；2）0.15%和 0.60%万寿菊提取物添加组肉鸡 21 和 42 日龄血清总抗氧化能力和超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化物酶和过氧化氢酶活性显著提高（P<0.05）；3）0.60%万寿菊提取物添加组肉鸡 21 日龄胸腺、脾脏和法氏囊指数显著升高（P<0.05），饲粮添加万寿菊提取物使肉鸡血清免疫球蛋白 M、免疫球蛋白 G 和白细胞介素 2 水平显著升高（P<0.05），万寿菊提取物未对肉鸡 42 日龄免疫器官指数造成显著影响（P>0.05）。综上，肉鸡饲粮中添加万寿菊提取物可以提高肉鸡机体的抗氧化能力和免疫性能，且对机体脂代谢有调节作用。

关键词：万寿菊提取物；叶黄素；肉鸡；抗氧化；免疫

中图分类号：S816.7　　文献标识码：A　　文章编号：

随着人们生活水平的提高，人们开始越来越注重肉品的质量。在中国、美国和许多其他的国家，鸡的皮肤和肉的颜色是决定消费者喜好的重要因素，而肉品质量也常以肉的色泽为基础进行评估[1-2]。肉鸡本身并不能合成色素[3]，而典型的玉米–豆粕型商业家禽饲粮中也没有足够数量和类型的色素来生产出消费者喜爱色泽的禽类产品[4]。为了迎合市场的需求，目前在商业生产中往往是向禽类饲料中添加人工合成色素来提高禽类产品的色泽，故禽类产品的颜色主要是由添加到禽类饲粮中的色素最终沉积到组织中而形成的[5]。然而合成色素虽性质稳定、价格低廉，但其安全性一直受到人们质疑。加之近些年消费者对于合成色素的利用变得更加的担忧，而对天然替代品的兴趣愈发浓厚。此外，因为天然色素的潜在健康促进作

收稿日期：2016–03–01

基金项目：科技部“十二五”国家科技支撑计划课题（2012BAD28B03）

作者简介：王述浩（1992—），男，山东菏泽人，硕士研究生，研究方向为动物营养与畜产品品质。E-mail: shwang310@163.com

*通信作者：高　峰，教授，博士生导师，E-mail: gaofeng0629@sina.com

用，现在亦形成了一种对类胡萝卜素富集产品的需求[6-7]。所以一种天然安全有效的着色剂的开发和利用显得尤为重要。

万寿菊提取物是一种提取自万寿菊花的天然含氧类胡萝卜素类着色剂，它的有效成分是叶黄素。如今万寿菊粉和其提取物是天然色素中人们最广泛接受的产品[4]，所以天然叶黄素的开发和利用越来越受到人们的重视。先前有研究表明叶黄素不但能提高皮肤色泽而且在几个物种上有非常强的抗氧化能力[1,3,8]。叶黄素是脂溶性的而且其抗氧化能力也许会对机体的脂代谢和糖代谢产生影响，而机体的抗氧化状态与免疫性能密切相关[9]。然而，当今虽然对万寿菊提取物对动物的影响进行了不少的研究，但大多数研究都集中在对动物和动物产品尤其是蛋黄着色上，但针对万寿菊提取物在肉鸡上代替合成色素的需求，却很少有研究系统地关注其对肉鸡血液生化指标、抗氧化和免疫的影响。因此，本试验通过在肉鸡饲粮中添加不同水平的万寿菊提取物，系统研究其对肉鸡血清生化指标、抗氧化能力和免疫性能的影响，初步探讨其对肉鸡机能的影响，为万寿菊提取物在肉鸡产业中的合理利用提供理论参考。

1　材料与方法

1.1　试验动物与试剂

试验用动物为健康的 1 日龄爱拔益加（arbor acres,AA）肉鸡公雏，购自安徽和威农牧有限公司。试验用万寿菊提取物为从万寿菊中提取的叶黄素脂经皂化后吸附于脱脂米糠和二氧化硅载体后而制成，提取物中有效成分叶黄素的含量为 20 g/kg。

1.2　试验设计

本试验采用单因子随机试验设计，选取大小一致、身体状况良好的 1 日龄 AA 肉鸡 192 只，随机分为 3 组，每组 8 个重复，每重复 8 只鸡。对照组饲喂基础饲粮，基础饲粮参照 NRC（1994）肉仔鸡营养需要量配制。试验组在基础饲粮中分别添加 0.15%和 0.60%的万寿菊提取物，即有效成分叶黄素含量分别为 30 和 120 mg/kg。试验分前期（1~21 日龄）和后期（22~42 日龄）2 个阶段进行，2 个阶段的基础饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of basal diets (air-dry basis)　　%

项目 Items	1~21 日龄 1 to 21 days of age	22~42 日龄 22 to 42 days of age
原料 Ingredients		
玉米 Corn	57.61	62.27
豆粕 Soybean meal	31.00	23.00
玉米蛋白质粉 Corn protein meal[1)]	3.29	6.00

豆油 Soybean oil	3.11	4.00
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	2.00	1.60
石粉 Limestone	1.20	1.40
L–赖氨酸 *L*-Lys	0.34	0.35
DL–蛋氨酸 *DL*-Met	0.15	0.08
预混料 Premix[2)]	1.00	1.00
食盐 NaCl	0.30	0.30
合计 Total	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[3)]		
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.55	13.13
粗蛋白质 CP	21.10	19.57
钙 Ca	1.00	1.95
有效磷 AP	0.46	0.39
赖氨酸 Lys	1.20	1.05
蛋氨酸 Met	0.50	0.42

[1)] 粗蛋白质含量为 60%。The crude protein content was 60%.

[2)] 预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets：Fe 60 mg,Cu 7.5 mg，Zn 65 mg，Mn 110 mg，I 1.1 mg，Se 0.4 mg，杆菌肽锌 bacitracin zinc 30 mg，生物素 biotin 0.04 mg，氯化胆碱 choline chloride 400 mg，VA 4 500 IU，VD_3 1 000 IU，VK 1.3 mg，VB_1 2.2 mg，VB_2 10 mg，VB_3 10 mg，VB_5 50 mg，VB_6 4 mg，VB_{11} 1 mg，VB_{12} 0.013 mg。

[3)] 计算值 Calculated values。

1.3 饲养管理

试验鸡以重复为单位饲养在笼子里，试验采用自由饮水、自由采食的饲养方式，24 h 光照，温度及湿度依据正常饲养程序调节，肉鸡按饲养常规程序进行新城疫等疫苗的免疫。为保证饮水及饲粮的品质，定期对水槽进行清理消毒，每天喂料 3 次，根据每重复的实际采食量灵活调整饲喂量并保证每次都有少许剩余。定期对舍内及周边环境进行清理消毒。在饲养期的第 22 天早晨更换后期饲粮。

1.4 样品采集

分别于肉鸡 21 和 42 日龄时，从每重复随机选取 1 只鸡，空腹称重后进行放血屠宰（屠

宰前 1 d 晚上开始禁食，大约禁食 12 h），颈静脉采血，3 000 r/min 离心 10 min 分离血清后保存在-20 ℃冰箱中备测。取下免疫器官（胸腺、脾脏、法氏囊）去除脂肪组织后称重。

1.5 指标测定

1.5.1 血清生化指标

血清生化指标的测定采用全自动生化分析仪配合试剂盒进行。血清葡萄糖（Glu）和总胆固醇（TC）水平采用氧化酶法测定；甘油三酯（TG）水平采用甘油磷酸氧化酶法测定；高密度脂蛋白胆固醇（HDL-C）和低密度脂蛋白胆固醇（LDL-C）水平采用直接法测定。血清 Glu、TC、TG 水平的测定采用上海科华生物工程股份有限公司生产的试剂盒；HDL-C、LDL-C 水平的测定采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒。所有操作按试剂盒说明进行。

1.5.2 抗氧化指标

血清总抗氧化能力（T-AOC）及超氧化物歧化酶（SOD）、谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）和过氧化氢酶（CAT）活性的测定采用南京建成生物工程研究所的试剂盒按说明书进行。

1.5.3 免疫相关指标

免疫器官指数（g/kg）=免疫器官重量（g）/鸡活重（kg）。

血清免疫球蛋白 M（IgM）、免疫球蛋白 G（IgG）和白细胞介素 2（IL-2）水平的测定采用南京建成生物工程研究所的试剂盒用酶联免疫吸附试验（ELISA）法进行。

1.6 数据处理与分析

数据首先用 Microsoft Office Excel 2010 软件作初步处理，然后用 IBM SPSS Statistics 20 软件作单因素方差分析，用 Duncan 氏法进行显著性检验，以 $P<0.05$ 作为差异显著性标准，结果以平均值和标准误表示。

2 结果与分析

2.1 饲粮添加万寿菊提取物对肉鸡血清生化指标的影响

由表 2 可知，饲粮添加 0.60%万寿菊提取物显著降低了肉鸡 21 和 42 日龄血清 TG 和 LDL-C 水平（$P<0.05$），显著提高了血清 HDL-C 水平（$P<0.05$）。饲粮添加 0.15%万寿菊提取物显著降低了肉鸡 42 日龄血清 LDL-C 水平（$P<0.05$）。饲粮添加万寿菊提取物未对肉鸡血清 TC 和 Glu 水平造成显著影响（$P>0.05$）。

表 2 饲粮添加万寿菊提取物对肉鸡血清生化指标的影响

Table 2 Effects of dietary marigold extract supplementation on serum biochemical indices of broilers

mmol/L

项目 Items	万寿菊提取物添加水平 Marigold extract supplementation level/%			标准误 SEM	*P* 值 *P*-value
	0	0.15	0.60		
21 日龄 21 days of age					
甘油三酯 TG	0.55[a]	0.50[ab]	0.46[b]	0.015	0.031
总胆固醇 TC	3.19	3.26	3.06	0.071	0.537
高密度脂蛋白胆固醇 HDL-C	1.02[b]	1.13[ab]	1.21[a]	0.027	0.012
低密度脂蛋白胆固醇 LDL-C	0.30[a]	0.26[ab]	0.23[b]	0.011	0.023
葡萄糖 Glu	14.44	13.49	13.57	0.241	0.213
42 日龄 42 days of age					
甘油三酯 TG	0.52[a]	0.47[ab]	0.44[b]	0.014	0.023
总胆固醇 TC	2.65	2.61	2.51	0.063	0.669
高密度脂蛋白胆固醇 HDL-C	0.83[b]	0.92[ab]	1.00[a]	0.026	0.034
低密度脂蛋白胆固醇 LDL-C	0.28[a]	0.23[b]	0.20[b]	0.011	0.003
葡萄糖 Glu	14.33	15.00	13.88	0.229	0.135

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著(P＜0.05)，无字母或相同字母表示差异不显著(P＞0.05)。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P＜0.05), with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (P＞0.05). The same as below.

2.2 饲粮添加万寿菊提取物对肉鸡血清抗氧化能力的影响

由表 3 可知，与对照组相比，0.15%和 0.60%万寿菊提取物添加组肉鸡 21 日龄血清 T-AOC 提高，且 0.60%万寿菊提取物添加组较对照组差异显著（P<0.05）。0.15%和 0.60%万寿菊提取物添加组肉鸡 21 日龄血清 SOD、GSH-Px、CAT 活性显著提高（P<0.05），且 0.60%万寿菊提取物添加组肉鸡血清 GSH-Px 和 CAT 活性较 0.15%万寿菊提取物添加组也显著提高（P<0.05）。与对照组相比，0.15%和 0.60%万寿菊提取物添加组肉鸡 42 日龄血清 SOD、CAT 活性和 T-AOC 显著提高（P<0.05），且 0.60%万寿菊提取物添加组较 0.15%万寿菊提取物添加组肉鸡血清 SOD 活性差异显著（P<0.05）。0.15%和 0.60%万寿菊提取物添加组肉鸡 42 日龄血清 GSH-Px 活性提高，且 0.60%万寿菊提取物添加组较对照组差异显著（P<0.05）。

表 3 饲粮添加万寿菊提取物对肉鸡血清抗氧化能力的影响

Table 3 Effects of dietary marigold extract supplementation on serum antioxidant capacity of broilers

U/mL

项目 Items	万寿菊提取物添加水平 Marigold extract supplementation levels/%			标准误 SEM	*P* 值 *P*-value
	0	0.15	0.60		
21 日龄 21 days of age					
总抗氧化能力 T-AOC	11.36[b]	12.20[b]	15.51[a]	0.673	0.021
超氧化物歧化酶 SOD	182.10[b]	200.26[a]	212.05[a]	4.243	0.008
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px	820.76[c]	859.82[b]	898.15[a]	8.586	<0.001
过氧化氢酶 CAT	0.90[c]	1.84[b]	3.57[a]	0.240	<0.001
42 日龄 42 days of age					
总抗氧化能力 T-AOC	10.62[b]	14.76[a]	15.44[a]	0.678	0.003
超氧化物歧化酶 SOD	129.53[c]	172.66[b]	201.01[a]	6.555	<0.001
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px	674.69[b]	701.08[b]	778.55[a]	11.128	<0.001
过氧化氢酶 CAT	0.55[b]	1.07[a]	1.17[a]	0.065	<0.001

2.3 饲粮添加万寿菊提取物对肉鸡免疫性能的影响

由表 4 可知，与对照组相比，0.15%和 0.60%万寿菊提取物添加组肉鸡胸腺、脾脏和法氏囊指数都有所提高，且 0.15%万寿菊提取物添加组肉鸡 21 日龄法氏囊指数和 0.60%万寿菊提取物添加组肉鸡胸腺、脾脏和法氏囊指数较对照组差异显著（$P<0.05$）。

表 4 饲粮添加万寿菊提取物对肉鸡免疫器官指数的影响

Table 4 Effects of dietary marigold extract supplementation on immune organ indices of broilers g/kg

项目 Items	万寿菊提取物添加水平 Marigold extract supplementation levels/%			标准误 SEM	*P* 值 *P*-value
	0	0.15	0.60		
21 日龄 21 days of age					
胸腺 Thymus	3.18[b]	3.57[b]	4.29[a]	0.167	0.013
脾脏 Spleen	1.13[b]	1.16[b]	1.35[a]	0.033	0.009
法氏囊 Bursa of Fabricius	1.76[b]	2.08[a]	2.26[a]	0.065	0.002
42 日龄 42 days of age					
胸腺 Thymus	2.63	2.68	2.88	0.937	0.528

脾脏 Spleen	1.14	1.17	1.18	0.347	0.882
法氏囊 Bursa of Fabricius	1.12	1.26	1.26	0.725	0.678

由表 5 可知，与对照组相比，饲粮添加 0.15%万寿菊提取物显著提高了肉鸡 21 日龄血清 IL-2 水平（$P<0.05$），0.60%万寿菊提取物添加组肉鸡 21 日龄血清 IgM 和 IL-2 水平较对照组也显著提高（$P<0.05$）。0.15%和 0.60%万寿菊提取物添加组肉鸡 21 日龄血清 IgG 水平较对照组有所提高，但不显著（$P>0.05$）。与对照组相比，0.15%和 0.60%万寿菊提取物添加组肉鸡 42 日龄血清 IgM 和 IL-2 水平显著提高（$P<0.05$），0.60%万寿菊提取物添加组肉鸡 42 日龄血清 IgG 水平较对照组也显著提高（$P<0.05$）。

表 5 饲粮添加万寿菊提取物对肉鸡血清免疫指标的影响

Table 5 Effects of dietary marigold extract supplementation on serum immune indices of broilers

项目 Items	万寿菊提取物添加水平 Marigold extract supplementation levels/%			标准误 SEM	*P* 值 *P*-value
	0	0.15	0.60		
21 日龄 21 days of age					
免疫球蛋白 M IgM/(μg/mL)	3.89^{b}	4.44^{ab}	5.12^{a}	0.209	0.046
免疫球蛋白 G IgG/(μg/mL)	461.97	486.44	501.91	11.070	0.347
白细胞介素–2 IL-2/(ng/L)	63.55^{c}	86.49^{b}	119.88^{a}	5.467	<0.001
42 日龄 42 days of age					
免疫球蛋白 M IgM/(μg/mL)	4.93^{b}	5.69^{a}	6.01^{a}	0.154	0.008
免疫球蛋白 G IgG/(μg/mL)	492.06^{b}	529.78^{b}	614.77^{a}	16.429	0.003
白细胞介素–2 IL-2/(ng/L)	81.45^{b}	120.33^{a}	132.80^{a}	6.302	<0.001

3 讨 论

3.1 万寿菊提取物对肉鸡血清生化指标的影响

血清TG、TC、HDL-C和LDL-C都是反映机体脂类代谢的指标。肝脏是合成TG和TC的场所，TG是机体内存在最多的脂类，其含量升高与动脉粥样硬化性心血管疾病密切相关，TC是血液中所有脂蛋白所含胆固醇之和。HDL-C主要是由肝脏合成，其可以抗动脉粥样硬化，减少患冠状动脉心脏病的危险。HDL-C能有效地抑制低密度脂蛋白（LDL）的氧化和中和LDL的活性以及抑制内皮细胞黏附的表达[10]。LDL-C含有大量的不饱和脂肪酸，其含量越高，机体患动脉粥样硬化、冠心病等心血管疾病的概率就越大[11]。血糖即血清中Glu的水平，是反映机体碳水化合物代谢的指标，血糖失调会导致多种疾病。

关于万寿菊提取物对肉鸡血脂影响的报道较少。本试验结果表明饲粮添加万寿菊提取物提高了肉鸡血清HDL-C水平，降低了血清TG和LDL-C水平，这与前人的研究结果类似。毕宇霖[12]发现β–胡萝卜素可降低肉牛血清LDL-C水平，黄建乡[13]试验表明β–胡萝卜素使鹌鹑的高密度脂蛋白（HDL）与TC的比值升高而使LDL水平降低。LDL-C的减少可能与类胡萝卜素的抗氧化功能有关，类胡萝卜素可清除体内多余的自由基，从而提高肝脏对LDL的降解[12]。另外，田润华[14]也发现维生素E、维生素C和β–胡萝卜素等抗氧化物质通过抗氧化性减少了体内自由基对LDL的修饰作用，从而减少了氧化型低密度脂蛋白的含量。LDL-C水平的降低也可能与HDL-C水平的升高有关。本试验中万寿菊提取物对肉鸡血清中Glu水平无显著影响，这说明饲粮中添加万寿菊提取物对肉鸡正常碳水化合物代谢无不利影响。元娜[15]的试验表明血清TC随着叶黄素添加剂量的增加呈上升趋势，而本试验中未对TC造成显著影响，这可能是由于其研究对象为产蛋高峰期的蛋鸡，激素分泌水平较高，血脂水平不同造成的。

3.2　万寿菊提取物对肉鸡抗氧化能力的影响

机体的抗氧化性能是影响机体健康的重要因素，机体抗氧化系统主要由抗氧化酶和链式反应阻断剂组成，这两类物质协同维持体内自由基生成与清除的平衡。T-AOC是机体或组织抗氧化性能高低的反映，是体内各种氧化与抗氧化物质共同作用的结果。GSH-Px、SOD和CAT是机体内重要的抗氧化酶。GSH-Px可以清除在细胞呼吸代谢过程中产生的过氧化物和羟自由基，从而减轻细胞膜多不饱和脂肪酸的过氧化作用。SOD可以清除超氧阴离子自由基，有保护细胞膜结构和功能完整的作用。CAT可以催化过氧化氢分解，使得有害的羟基自由基的生成减少。因此，血清中GSH-Px、SOD、CAT和T-AOC含量或活性的升高是机体抗氧化性能升高的体现。

目前关于类胡萝卜素体内与体外抗氧化性能的试验研究结果不尽一致。张尔贤等[16]通过菊花提取物的体外抗氧化试验研究证明，菊花提取物是具有抗氧化活性的。Kumar等[17]体外试验也表明万寿菊成分中的叶黄素对超氧阴离子自由基、过氧化氢、羟基和脂质自由基表现出很强的抗氧化作用。元娜[15]认为万寿菊提取物可提高蛋鸡血清SOD活性，降低丙二醛（MDA）水平。Rajput等[18]研究也指出姜黄素和叶黄素可降低机体MDA水平。Shanmugasundarams等[19]研究表明叶黄素可使火鸡肌肉硫代巴比妥酸值降低，这与上述结果也是基本一致的。而王鲁波等[20]认为万寿菊提取物对黄颡鱼机体的抗氧化性能无显著影响。苏卿等[21]以叶黄素标品进行体外抗氧化研究表明叶黄素在不同浓度时具有抗氧化、促氧化双重作用。在本研究中，我们选择血清作为评估机体抗氧化性能的代表性样本。以我们所测定的4个抗氧化指标来分析，饲粮添加0.15%和0.60%的万寿菊提取物都显著提高了机体的抗

氧化性能。叶黄素分子中有许多个不饱和键，大多数研究者认为叶黄素发挥生物活性的机制是叶黄素可以淬灭活性氧类[22]，因此其能够抑制氧自由基的活性，阻止活性氧游离自由基对正常细胞的损害[23]。另外，Chew等[24]也报道说叶黄素通过淬灭单线态氧和自由基捕获对阻止游离自由基对细胞膜的损害具有独特的功效。因此，叶黄素在肉鸡中能减缓氧化应激，是一种杰出的抗氧化剂[25]。

3.3　万寿菊提取物对肉鸡免疫性能的影响

免疫系统是机体防卫病原体入侵最有效的武器，是机体健康的保障。胸腺是细胞免疫的中枢器官，是禽类血液中淋巴细胞的主要来源。脾脏能产生大量的淋巴细胞，参与全身的细胞免疫和体液免疫是禽类最大的外周免疫器官。法氏囊是血清抗体生成系统的细胞成长和分化的部位，是禽类特有的免疫器官。胸腺、脾脏和法氏囊的器官指数可用于评价雏鸡的免疫状态[26]，这些免疫器官的器官指数越大，则可表明机体的细胞免疫和体液免疫机能越强。免疫球蛋白是由浆细胞分泌的，是免疫系统与抗原接触后的体液免疫反应物。IgM主要分布在血液中，具有强大的抗感染作用，是机体受到抗原刺激后最先产生的抗体。IgG是血清中免疫球蛋白的主成分，其参与体液和细胞免疫的效应子功能的触发[27]。IL-2主要由活化T细胞产生，其主要促进淋巴细胞生长、增殖和分化，对机体的免疫应答等有重要作用。

当前有一些研究表明类葫芦卜素可以提高动物的体液和细胞免疫能力，增加巨噬细胞的吞噬能力，抑制肿瘤细胞繁殖[24]。研究表明，β–胡萝卜素可以使奶牛的中性白细胞的吞噬能力提高，同时也可以降低奶牛产后乳腺炎的发病率[28-29]。叶黄素可以促进抗原刺激的淋巴细胞增殖反应，并可影响细胞表面分子的功能性表达[15]。Kim等[30-31]报道叶黄素可增加家犬T细胞和B细胞的数量，还具有增强特异性免疫应答的能力，还可以增强猫的体液免疫反应并提高血浆IgG水平。在本试验中，我们发现肉鸡饲粮添加0.15%和0.60%的万寿菊提取物都增提高了肉鸡血清IgG、IGM和IL-2水平，尤其0.60%的添加效果更加明显，这与前述结果基本一致。同时本试验还发现，万寿菊提取物显著提高了肉鸡21日龄的免疫器官指数，促进了肉鸡早期免疫系统的发育，而对42日龄免疫器官指数影响不显著，这可能是由于后期肉鸡的免疫器官发育趋于完善。目前关于叶黄素提高免疫性能的机制还不是很清楚，但可以确定的是叶黄素的免疫功能与其抗氧化性能是息息相关的[9]。同时，Jyonouchi[32]等指出虾青素的结构末端具有极性基团，即在β–酮环上有一个羟基，可以调节抗原向辅助性T细胞的呈递过程。叶黄素结构中同样具有此种极性末端基团，因此叶黄素也可能具有同样的作用，即叶黄素也可能通过调节细胞间通讯和细胞膜流动性来影响免疫功能[17]

4　结　论

本试验发现肉鸡饲粮中添加天然着色剂万寿菊提取物可以提高肉鸡机体的抗氧化能力和免疫性能，而且对机体脂代谢有调节作用。同时，本试验未发现高剂量万寿菊提取物添加对机体脂代谢和糖代谢有不利影响。

参考文献：

[1] LIU G D,HOU G Y,WANG D J,et al.Skin pigmentation evaluation in broilers fed different levels of natural okra and synthetic pigments[J].The Journal of Applied Poultry Research,2008,17(4):498–504.

[2] VELASCO V,WILLIAMS P.Improving meat quality through natural antioxidants[J].Chilean Journal of Agricultural Research,2011,71(2):313–322.

[3] LOKAEWMANEE K,YAMAUCHI K,KOMORI T,et al.Enhancement of yolk color in raw and boiled egg yolk with lutein from marigold flower meal and marigold flower extract[J].The Journal of Poultry Science,2011,48(1):25–32.

[4] CASTANEDA M P,HIRSCHLER E M,SAMS A R.Skin pigmentation evaluation in broilers fed natural and synthetic pigments[J].Poultry Science,2005,84(1):143–147.

[5] PÉREZ-VENDRELL A M,HERNÁNDEZ J M,LLAURADÓ L,et al.Influence of source and ratio of xanthophyll pigments on broiler chicken pigmentation and performance[J].Poultry Science,2001,80(3):320–326.

[6] MOELLER S M,JACQUES P F,BLUMBERG J B.The potential role of dietary xanthophylls in cataract and age-related macular degeneration[J].Journal of the American College of Nutrition,2000,19(Suppl.5):522S–527S.

[7] JOHNSON E J.The role of carotenoids in human health[J].Nutrition in Clinical Care,2002,5(2):56–65.

[8] ALVES-RODRIGUES A,SHAO A.The science behind lutein[J].Toxicology Letters,2004,150(1):57–83.

[9] BENDICH A.Antioxidant micronutrients and immune responses[J].Annals of the New York Academy of Sciences,1990,587(1):168–180.

[10] 屈雪莹,车琳.高密度脂蛋白在心血管代谢风险中的研究[J].国际心血管病杂志,2010,37(2):81–84.

[11] ROSS R.The pathogenesis of atherosclerosis:a perspective for the 1990s[J].Nature,1993,362(6423):801–809.

[12] 毕宇霖.不同水平 β-胡萝卜素在肉牛体内的沉积规律及对肉牛生产性能、血液生化和代谢关键酶的研究[D].硕士学位论文.泰安:山东农业大学,2014.

[13] 黄建乡.盐藻 β-胡萝卜素(顺)对鹌鹑实验性动脉粥样硬化和脂肪肝的治疗作用研究[D].硕士学位论文.青岛:青岛大学,2003.

[14] 田润华.维生素 E、C 和 β-胡萝卜素补充对老年人群脂质代谢水平及肝功能影响的研究[D].硕士学位论

文.青岛:青岛大学,2005.

[15] 元娜.万寿菊提取物和维生素 E 对鸡蛋品质、抗氧化能力及免疫应答影响的研究[D].硕士学位论文.保定:河北农业大学,2009.

[16] 张尔贤,方黎,张捷,等.菊花提取物的抗氧化活性研究[J].食品科学,2000,21(7):6–9.

[17] KUMAR R,YU W,JIANG C,et al.Improvement of the isolation and purification of lutein from marigold flower (*Tagetes erecta* L.) and its antioxidant activity[J].Journal of Food Process Engineering,2010,33(6):1065–1078.

[18] RAJPUT N,ALI S,NAEEM M,et al.The effect of dietary supplementation with the natural carotenoids curcumin and lutein on pigmentation,oxidative stability and quality of meat from broiler chickens affected by a coccidiosis challenge[J].British Poultry Science,2014,55(4):501–509.

[19] SHANMUGASUNDARAMS R,SELVARAJ R K.Lutein supplementation alters inflammatory cytokine production and antioxidant status in F-line turkeys[J].Poultry Science,2011,90(5):971–976.

[20] 王鲁波.天然叶黄素对黄颡鱼生长性能、皮肤着色和抗氧化功能的影响及其在鱼体组织中代谢规律的研究[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2012.

[21] 苏卿,李谦,陈浩,等.叶黄素的抗氧化–促氧化作用研究[J].食品工业科技,2014,35(9):68–71,77.

[22] TREVITHICK-SUTTON C C,FOOTE C S,COLLINS M,et al.The retinal carotenoids zeaxanthin and lutein scavenge superoxide and hydroxyl radicals:a chemiluminescence and ESR study[J].Molecular Vision,2006,12:1127–1135.

[23] BECKMAN K B,AMES B N.Oxidative decay of DNA[J].Journal of Biological Chemistry,1997,272(32):19633–19636.

[24] CHEW B P,PARK J S.Carotenoid action on the immune response[J].The Journal of Nutrition,2004,134(1):257S–261S.

[25] HÕRAK P,SILD E,SOOMETS U,et al.Oxidative stress and information content of black and yellow plumage coloration:an experiment with greenfinches[J].Journal of Experimental Biology,2010,213(13):2225–2233.

[26] RIVAS A L,FABRICANT J.Indications of immunodepression in chickens infected with various strains of Marek's disease virus[J].Avian Diseases,1988,32(1):1–8.

[27] VIDARSSON G,VAN DER POL W L,VAN DEN ELSEN J M,et al.Activity of human IgG and IgA subclasses in immune defense against *Neisseria meningitidis* serogroup B[J].The Journal of Immunology,2001,166(10):6250–6256.

[28] CHEW B P.Role of carotenoids in the immune response[J].Journal of Dairy Science,1993,76(9):2804–2811.

[29] CHAWLA R,KAUR H.Plasma antioxidant vitamin status of periparturient cows supplemented with α-tocopherol and β-carotene[J].Animal Feed Science and Technology,2004,114(1/2/3/4):279–285.

[30] KIM H W,CHEW B P,WONG T S,et al.Dietary lutein stimulates immune response in the canine[J].Veterinary Immunology and Immunopathology,2000,74(3/4):315–327.

[31] KIM H W,CHEW B P,WONG T S,et al.Modulation of humoral and cell-mediated immune responses by dietary lutein in cats[J].Veterinary Immunology and Immunopathology,2000,73(3/4):331–341.

[32] JYONOUCHI H,SUN S N,MIZOKAMI M,et al.Effects of various carotenoids on cloned,effector-stage T-helper cell activity[J].Nutrition and Cancer,1996,26(3):313–324.

Effects of Effects of Dietary Marigold Extract Supplementation on Serum Biochemical Indices, Antioxidant and Immune Capacities of Broilers

WANG Shuhao ZHANG Lin LI Jiaolong CONG Jiahui GAO Feng* ZHOU Guanghong

(*College of Animal Science and Technology, Nanjing Agricultural University; Key Laboratory of Animal Origin Food Production and Safety Guarantee of Jiangsu Province; Jiangsu Collaborative Innovation Center of Meat Production and Processing, Quality and Safety Control, Nanjing* 210095, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of dietary marigold extract supplementation on serum biochemical indices, antioxidant and immune capacities of broilers. A total of 192 one-day-old Arbor Acres (AA) chickens were randomly divided into 3 groups with 8 replicates of 8 chickens each. Chickens in the control group were fed a basal diet and the others in test groups were fed basal diets added with 0.15% and 0.60% marigold extract (the effective composition content of lutein was 30 and 120 mg/kg), respectively. Test period was 42 d. The results showed as follows: compared with the control group, 1) the levels of serum triglyceride and low density lipoprotein cholesterin of broilers in 0.60% marigold extract group were significantly decreased ($P<0.05$), while the high density lipoprotein cholesterin level was significantly increased ($P<0.05$); 2) the serum total antioxidant capacity and activities of superoxide dismutase, glutathione peroxidase and catalase of broilers at 21 and 42 days of age in 0.15% and 0.60% marigold extract groups were significantly increased ($P<0.05$); 3) the indices of thymus, spleen and bursal of Fabricius of broilers at 21 days of age in 0.60% marigold extract group were significantly increased ($P<0.05$), the levels of serum immunoglobulin M, immunoglobulin G and interleukin-2 were significantly increased by dietary marigold extract supplementation ($P<0.05$), while there were no significant effects on immune organ indices of broilers at 42 days of age with the marigold extract supplementation ($P>0.05$). It is concluded that dietary supplementation with marigold extract can increase the antioxidant and immune capacities and regulate lipids metabolism of broiler chickens.

Key words: marigold extract; lutein; broiler; antioxidant; immune

*Corresponding author, professor, E-mail: gaofeng0629@sina.com （责任编辑　田艳明）